



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN INGENIERIA  
LABORATORIO DE INGENIERIA SISMICA

# REGISTROS DE ACELERACIONES DEL TERREMOTO DE LIMON, 22 DE ABRIL DE 1991

Guillermo Santana B.  
William Vargas M.  
Víctor Sancho R.  
Carlos Segura V.  
Adalberto Ramírez V.  
Jorge Sibaja R.



REPORTE INII-58-91  
JULIO 1991

## **AGRADECIMIENTOS**

El Programa de Medición de Sismos Fuertes agradece a todos los individuos y organizaciones que han permitido y colaborado con la instalación de acelerógrafos en sus propiedades. El Programa también extiende su agradecimiento a la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica por el apoyo que siempre ha brindado.

Los registros aquí presentados fueron posibles gracias al trabajo de muchas personas que instalaron y dieron mantenimiento a las estaciones acelerográficas a través de los años.

El Ing. Adolfo Matamoros H. y el estudiante Robert Laurent S. contribuyeron en la recopilación de información de daños aquí presentada. El estudiante Waldo Taylor contribuyó con la verificación de las condiciones geológicas de las estaciones acelerográficas. Flory Abarca contribuyó con todo el apoyo secretarial y logístico necesario para la publicación de este reporte.

## INDICE

Indice de tablas	iv
Indice de figuras	v
Introducción	1
Daños	2
Registros de aceleraciones	3
Acelerogramas del sismo de Limón	12
Otros registros de aceleraciones	46
Referencias	46
Apéndice	47

## INDICE DE TABLAS

Parámetros de la fuente sísmica	2
Tabla 1. Estaciones acelerográficas del Programa de Medición de Sismos Fuertes	5
Tabla 2. Estaciones que registraron el sismo principal	8
Tabla 3. Aceleraciones máximas registradas	10

## INDICE DE FIGURAS

1. Mapa de ubicación de estaciones acelerográficas del Programa de Medición de Sismos Fuertes	6
2. Mapa de San José con ubicación de estaciones acelerográficas del Programa de Medición de Sismos Fuertes	7
3a. Fotografía de la estación ISD	13
3b. Registro del sismo del 22 de abril de 1991 en la estación ISD	14
4a. Fotografía de la estación CCH	15
4b. Registro del sismo del 22 de abril de 1991 en la estación CCH	16
5a. Fotografía de la estación CTG	17
5b. Registro del sismo del 22 de abril de 1991 en la estación CTG	18
6a. Fotografía de la estación GTS	19
6b. Registro del sismo del 22 de abril de 1991 en la estación GTS	20
7a. Fotografía de la estación CMA	21
7b. Diagrama de ubicación de instrumentos en la estación CMA	22
7c. Registro del sismo del 22 de abril de 1991 en la estación CMA	23
8a. Fotografía de la estación GLF	24
8b. Registro del sismo del 22 de abril de 1991 en la estación GLF	25
9a. Fotografía de la estación AUR	26
9b. Diagrama de ubicación de instrumentos en la estación AUR	27
9c. Registro del sismo del 22 de abril de 1991 en la estación AUR (Sótano)	28
9d. Registro del sismo del 22 de abril de 1991 en la estación AUR (Piso 15)	29

10a.	Fotografía de la estación BNC	30
10b.	Diagrama de ubicación de instrumentos en la estación BNC	31
10c.	Registro del sismo del 22 de abril de 1991 en la estación BNC	32
11a.	Fotografía de la estación HTO	33
11b.	Registro del sismo del 22 de abril de 1991 en la estación HTO	34
12a.	Fotografía de la estación ICE	35
12b.	Diagrama de ubicación de instrumentos en la estación ICE	36
12c.	Registro del sismo del 22 de abril de 1991 en la estación ICE	37
13a.	Fotografía de la estación QPS	38
13b.	Registro del sismo del 22 de abril de 1991 en la estación QPS	39
14a.	Fotografía de la estación ALJ	40
14b.	Registro del sismo del 22 de abril de 1991 en la estación ALJ	41
15a.	Fotografía de la estación PCL	42
15b.	Registro del sismo del 22 de abril de 1991 en la estación PCL	43
16a.	Fotografía de la estación SRM	44
16b.	Registro del sismo del 22 de abril de 1991 en la estación SRM	45

## INTRODUCCION

En este informe se presentan los registros de aceleraciones del terremoto de la provincia de Limón, ocurrido el 22 de abril de 1991. Los registros fueron obtenidos por el Programa de Medición de Sismos Fuertes del Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica.

Se recobraron 15 registros de 14 estaciones del total de 19 estaciones del Programa. Los datos recuperados corresponden a registros de 10 estaciones de campo libre o de estructuras bajas y 4 estaciones de edificios altos. Las estaciones en edificios altos están constituidas en general por dos acelerógrafos, uno en la base y otro en la parte superior de la estructura. La estación más distante al hipocentro está ubicada aproximadamente a 162 km en San Ramón de Alajuela. Este reporte incluye todos los registros obtenidos por el Programa y reemplaza los reportes preliminares distribuidos el 26 de abril y el 14 de mayo de 1991.

El evento sísmico ocurrió a las 15:57 hora local (21:57 GMT). Según el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica el epicentro del sismo se ubica 39.5 km al sur-suroeste del Puerto de Limón y su profundidad fue de 21 km, con origen en una falla intraplaca. La magnitud reportada por la red mundial fue de 7.4 ( $M_s$ ). Los epicentros de los sismos siguientes (réplicas) se ubican a lo largo de más de 100 km, en una zona comprendida entre Batán, 40 km al noroeste de Limón y Changuinola, en las cercanías de la frontera entre Costa Rica y Panamá.

El sismo ocurrió en la estribaciones orientales de la cordillera de Talamanca, una zona que no había sido identificada anteriormente con certeza como fuente de sismos de gran magnitud. Las causas principales de esta deficiencia en la zonificación sísmica del país son la localización incorrecta dada por las redes mundiales a los epicentros de sismos originados en esta zona, que los asoció con el proceso de subducción que ocurre frente a la costa del Océano Pacífico de Centro América, y la falta de información sobre los efectos de los sismos pasados en la zona afectada, que a la fecha aún tiene una baja densidad de población. Tampoco existe ningún estudio sobre fallas activas en la zona epicentral de este sismo, del cual se pudiera estimar una posible magnitud.

La localización incierta de un sismo de gran magnitud ( $M_s$  7.2) ocurrido el 20 de diciembre de 1904, asignado a la zona de Osa por varios autores (Morales, 1985 y Montero, 1986), fue señalada por Boschini (1989), quien encontró que las intensidades máximas habían ocurrido en el puerto de Limón. En igual forma, Güendel (1989) relocalizó en la zona costera del Caribe comprendida entre Costa Rica y Panamá otro sismo de gran magnitud ( $M_s$  7.4) ocurrido el 24 de abril de 1916, ubicado por la red mundial en la zona costera del Océano Pacífico y asignado por Montero (1986) a la zona de Nicoya. La localización del epicentro de este sismo en la zona del Caribe había sido señalada por varios autores (Miyamura, 1980; Nishenko, 1989). Al igual que el sismo de 1991, el de 1916 provocó un pequeño tsunami en Almirante, zona del Caribe de Panamá (Reid, 1917).

El único sismo cuya localización en las cercanías de la ciudad de Limón se conoce con certeza ocurrió el 7 de enero de 1953. Este sismo destruyó 40 casas en Limón pero no provocó

ninguna muerte (Miyamura, 1980).

#### PARAMETROS DE LA FUENTE SISMICA

Fecha:	22 de Abril 1991
Hora:	21:57 GMT (15:57 local)
Latitud:	09° 38.62' N
Longitud:	83° 5.92' W
Profundidad:	21.5 km
Magnitud (Ms):	7.4 (Según USGS)
Fuente de la información:	Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica, excepto donde se indica

#### DAÑOS

El sismo provocó graves daños en una extensa área de las provincias de Limón y Cartago, Costa Rica, y en la provincia de Bocas del Toro, Panamá. En Costa Rica, las zonas más afectadas están ubicadas sobre terrenos de origen aluvial, al oeste, noroeste y sureste del Puerto Limón, a lo largo de la costa atlántica. Oficialmente se reportó un total de 58 muertes, de las cuales 13 ocurrieron en Puerto Limón. Daños importantes, incluido el colapso de muchas viviendas y otras edificaciones, ocurrieron en las poblaciones de La Suiza y Moravia de Chirripó, Turrialba en la provincia de Cartago así como en Batán, Matina, Puerto Limón, Valle de La Estrella, Peshurst, Cahuita, Puerto Viejo, Uatsi, Daytonia y Sixaola en la provincia de Limón. En todas las zonas bajas, ocupadas por extensas plantaciones de banano, se encontraron evidencias de licuación y otros efectos de daño y falla de suelos.

Daños importantes ocurrieron en las instalaciones de la Refinería Costarricense de Petróleo (RECOPE) y de Fertilizantes de Centro América (FERTICA), y en los muelles del puerto de Limón. En esta ciudad también ocurrió el único colapso total de una estructura de concreto reforzado de varios niveles.

La carretera nacional entre Siquirres y Puerto Limón, la única vía de transporte entre San José y la zona atlántica, fue casi totalmente destruida en el tramo comprendido entre Batán y Liverpool. Los puentes ubicados en este tramo también sufrieron daños importantes, incluyendo el colapso de un tramo del puente sobre el río Chirripó del Atlántico, así como también desplazamientos y desalineamiento de bastiones en algunos otros. La carretera costanera en el tramo sur entre Puerto Limón y el Valle de La Estrella fue destruida. Los puentes de esa vía sobre los ríos Vizcaya, Bananito, Estero Negro y La Estrella colapsaron parcial o totalmente.

También hubo múltiples daños en los ferrocarriles de la zona. Entre estos la ruptura o deformación de los rieles así como también el asentamiento y corrimiento lateral de los rellenos en las aproximaciones a los puentes. Los puentes sobre los ríos Matina, Bananito y Sixaola sufrieron desplazamiento y rotación de los apoyos y de la superestructura.

La tubería principal del acueducto de Limón sufrió múltiples rupturas en la zona cercana a la ciudad, lo que ocasionó la falta total de agua durante más de una semana. Las líneas eléctricas del litoral también sufrieron múltiples rupturas, caídas o desalineamiento de postes, lo que impidió el restablecimiento del fluido eléctrico en toda la zona durante varios días.

En la zona montañosa, sobre la cordillera de Talamanca y sus estribaciones, hubo gran cantidad de enormes deslizamientos de tierra. Este hecho ha provocado una alteración en el curso y en el flujo de algunos ríos. Estas alteraciones han tenido repercusiones importantes sobre el normal funcionamiento de las poblaciones en las zonas bajas costeras.

La costa atlántica de Costa Rica experimentó un levantamiento con respecto al nivel del mar de aproximadamente 1.5 m en Puerto Limón y de 0.3 a 0.5 m en la zona de Cahuita y Puerto Viejo. Este levantamiento provocó la exposición y muerte de los arrecifes coralinos en la costa y la desecación del estero del río La Estrella.

También se reportó la ocurrencia de un tsunami que afectó las poblaciones costeras del sur de la provincia de Limón (Cahuita, Puerto Vargas, Puerto Viejo, Cocles) y de la bahía de Bocas del Toro en Panamá.

En el Valle Central del país no se reportaron daños importantes. La intensidad del sismo fue de V a VI en esta zona, inferior a la intensidad del sismo de Alajuela del 22 de diciembre de 1990 ( $M_L$  5.8), y similar a la intensidad del sismo de Cóbano del 25 de marzo de 1990 ( $M_L$  6.8).

## REGISTROS DE ACELERACIONES

El programa de Medición de Sismos Fuertes del Laboratorio de Ingeniería Sísmica mantiene una red de acelerógrafos en todo el país, con especial énfasis en el Valle Central y en la costa del Océano Pacífico, según se muestra en la figura 1. Esta distribución de las estaciones corresponde con la zonificación sísmica del país, realizada por Mortgat et al. (1977) y adoptada por el Código Sísmico de Costa Rica en su revisión de 1986. La red acelerográfica tiene mayor densidad en el Valle Central, especialmente en la ciudad de San José, en donde hay varias estaciones dedicadas al estudio del comportamiento de edificios altos, como se muestra en la figura 2. La identificación de las estaciones y su localización se da en la tabla 1, en la cual se marcan con asterisco las estaciones que registraron el evento principal del 22 de abril.

En la tabla 2 se presenta una descripción detallada de las estaciones que registraron el sismo principal y se indica la página del reporte en donde se muestra una copia del acelerograma correspondiente. La descripción incluye las características de la estructura o sitio, del suelo y la ubicación geográfica. Se omiten las estaciones cuyos registros no pudieron ser recuperados por alguna falla técnica en el funcionamiento del acelerógrafo, específicamente las estaciones RCP (RECOPE, Ochomogo) e INS (Edificio Central del INS en San José).

En la tabla 3 se presenta el resumen de aceleraciones máximas (valores pico) en las tres componentes del movimiento para los registros obtenidos a nivel del terreno. Estos valores deben ser considerados como preliminares, sujetos a variaciones una vez que los acelerogramas hayan sido digitalizados, corregidos y filtrados. En esta tabla las estaciones están ordenadas por



distancia hipocentral creciente, la cual es un parámetro importante en la evaluación de la atenuación de la amplitud del movimiento. Un indicador más claro en el caso de sismos de gran magnitud es la distancia a la falla o a la zona de ruptura, que se extiende por varios kilómetros. A la fecha de este reporte no se cuenta con la información requerida para correlacionar las aceleraciones máximas con la distancia a la falla o zona de ruptura.

En todos los registros puede observarse que el sismo tuvo una gran duración, cercana a un minuto en la mayoría de las estaciones. La fase fuerte tuvo una duración aproximada de 25 segundos.

El valor máximo de aceleración pico horizontal, de 0.27g fue registrado en el Parque Central de la ciudad de Cartago (Estación CTG), a pesar de que no es la estación más cercana al foco del sismo. La ciudad está ubicada sobre suelo blando, producto de las sucesivas avalanchas del Río Reventado y las erupciones de ceniza del Volcán Irazú. La comparación de esos niveles de aceleraciones con los registrados en Cachí (en roca) y en Guatuso de Patarrá (espesor de la capa de suelo muy pequeño) revela el efecto amplificador de los suelos blandos en la ciudad de Cartago. La condición de suelo blando es típica de las planicies de la zona atlántica, en donde los daños provocados por el terremoto están claramente relacionados con la amplificación del movimiento. Los registros de aceleraciones del terremoto del 22 de diciembre de 1990 también muestran niveles de aceleraciones mayores en la ciudad de Cartago que en Guatuso de Patarrá y Ochomogo. (Ver Santana et al., 1991)

La estación más cercana al epicentro es la de San Isidro de Pérez Zeledón (código ISD). En esta ciudad se registró un valor pico de aceleración horizontal de 0.20g y no hubo daños importantes.

En la ciudad de San José las aceleraciones máximas alcanzaron niveles comprendidos entre 0.06g y 0.20g. Este último valor fue registrado en el primer piso de la Biblioteca Carlos Monge Alfaro de la Universidad de Costa Rica (estación CMA) y refleja tanto las condiciones de suelo blando del sitio como la influencia de la estructura, puesto que el instrumento está ubicado muy cerca de uno de los núcleos de mayor rigidez de la estructura (ver diagrama de ubicación en página 22).

Nuevamente en este sismo los niveles de aceleraciones máximas registrados en la estación de Alajuela son superiores a lo que se esperaría dada la atenuación en la amplitud del movimiento con la distancia. Este comportamiento fue observado anteriormente en los sismos de Cóbano, del 25 de marzo y de Puriscal, del 22 de diciembre de 1990 y hace suponer que también en la ciudad de Alajuela la condición del suelo produce amplificación de las ondas sísmicas.

En las páginas 13 a 45 se presentan los acelerogramas en el mismo orden de la tabla 3, precedidos por una fotografía y descripción de la estación, y un diagrama de ubicación de los instrumentos en el caso de edificios altos. En el apéndice (página 48) se muestra un acelerograma típico con una breve explicación de los diferentes trazos.

**TABLA 1**  
**ESTACIONES ACELEROGRAFICAS**  
**PROGRAMA DE MEDICION DE SISMOS FUERTES**

Código	Nombre	Registro
ALJ	Alajuela - CIPET	*
AUR	San José - Hotel Aurola	*
BNC	San José - Banco Nacional	*
CCH	Cachí - Represa	*
CMA	San José - Biblioteca Central UCR	*
CTG	Cartago - Parque Central	*
GLF	Golfito	*
GTS	San José - Guatuso	*
HTO	San José - Hatillo	*
ICE	San José - Edificio ICE	*
INS	San José - Edificio INS	*
ISD	San Isidro	*
LIB	Liberia - UCR	*
PCL	Puriscal	*
PTS	Puntarenas	*
QPS	Quepos	*
RCP	Cartago - Recope	*
SRM	San Ramón - UCR	*
STC	Santa Cruz - UCR	*
Abreviaturas:		
CIPET:	Centro de Investigación y Perfeccionamiento para la Enseñanza Técnica.	
ICE:	Instituto Costarricense de Electricidad	
INS:	Instituto Nacional de Seguros	
RECOPE:	Refinadora Costarricense de Petróleo	
UCR:	Universidad de Costa Rica	

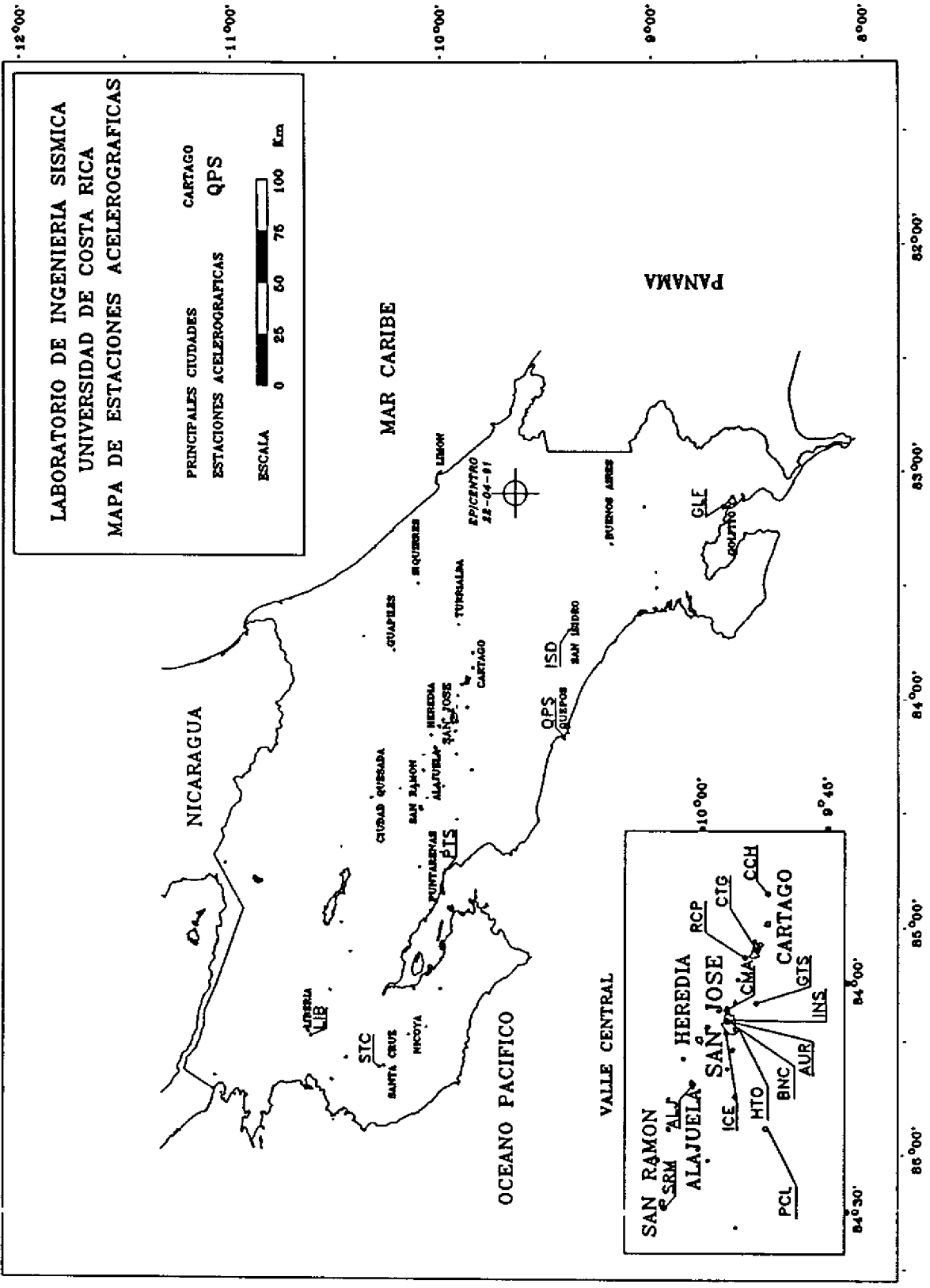


Figura 1. Mapa de ubicación de estaciones acelerográficas del Programa de Medición de Sismos Fuertes

LABORATORIO DE INGENIERIA SISMICA  
 MAPA DE UBICACION DE ESTACIONES  
 CIUDAD DE SAN JOSE

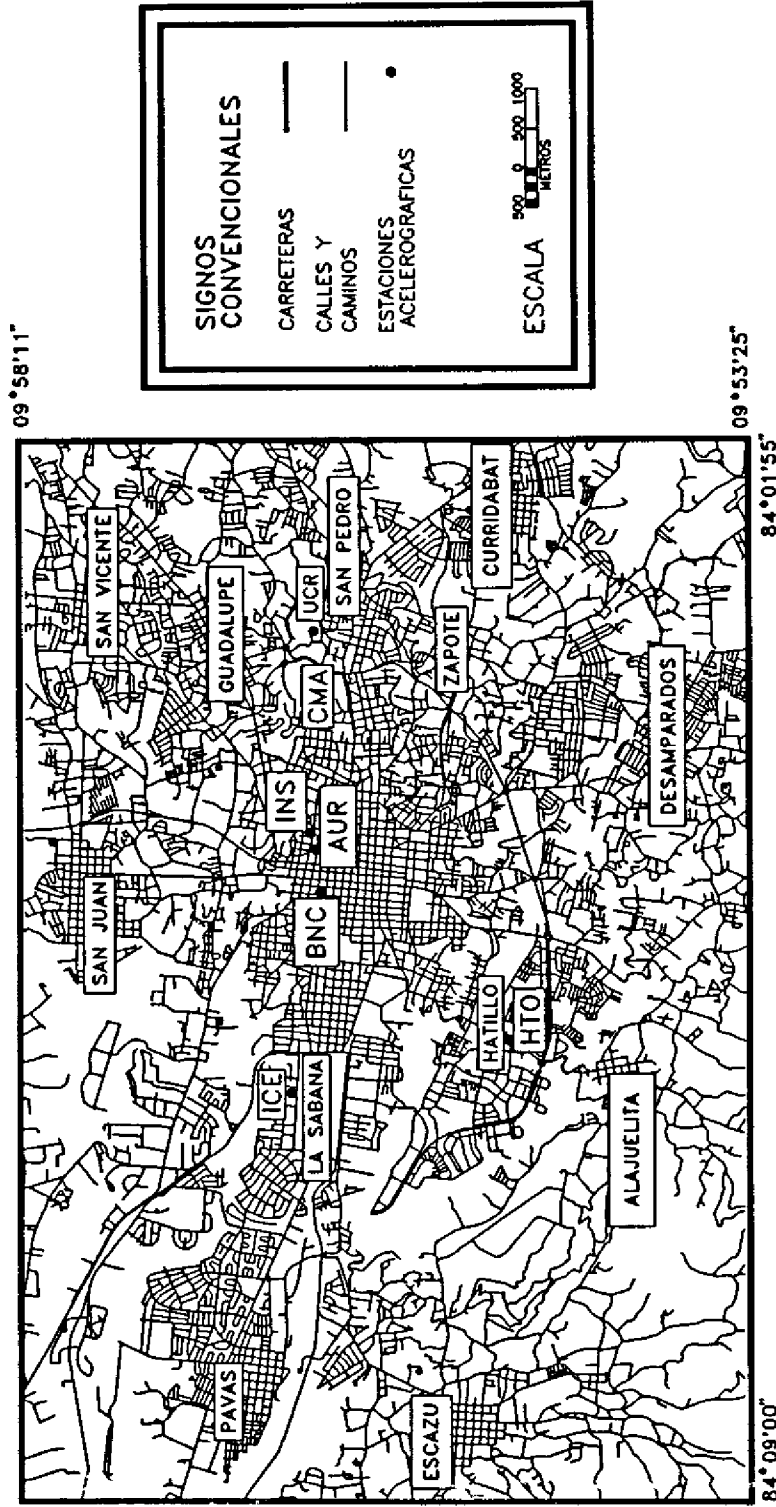


Figura 2. Mapa de San José con ubicación de estaciones acelerográficas del Programa de Medición de Sismos Fuertes

**TABLA 2**  
**ESTACIONES QUE REGISTRARON EL SISMO PRINCIPAL**

Nombre, código y descripción de estación acelerográfica	Tipo de Suelo y Geología	Coordenadas geográficas	Registro en pág.
San Isidro, ISD Edificio INS Concreto reforzado 2 pisos	Firme Materiales sedimentarios terciarios	9.3726 83.7052	14
Cachí, CCH Túnel de exploración en flanco sur de represa Proyecto Hidroeléctrico Cachí Instalación en roca	Rocoso Materiales volcánicos terciarios	9.8422 83.8053	16
Cartago, CTG Parque Central Instalación en campo libre	Blando Sedimento aluviales recientes	9.8672 83.9253	18
San José - Guatuso, GTS Escuela primaria de Guatuso, Patarrá Acero y elementos prefabricados 1 piso	Rocoso Materiales sedimentarios terciarios	9.8703 84.0375	20
San José - Biblioteca UCR, CMA Edificio Biblioteca Carlos Monge Concreto reforzado 4 pisos	Blando Depósitos volcánicos cuaternarios	9.9370 84.0540	23
Golfito, GLF Hospital CCSS Acero 2 pisos	Blando Materiales ígneos y sedimentarios del Cretácico	8.6449 83.1722	25
San José - Hotel Aurola, AUR Edificio Hotel Aurola Acero y concreto reforzado 17 pisos	Firme Depósitos volcánicos cuaternarios	9.9376 84.0775	28
San José - Banco Nacional, BNC Edificio del Banco Nacional Concreto reforzado 20 pisos	Firme Depósitos volcánicos cuaternarios	9.9370 84.0823	32
San José - Hatillo, HTO Clínica Solón Núñez, CCSS Concreto reforzado 1 piso	Blando Sedimento aluviales recientes	9.9160 84.0987	34

**TABLA 2**  
**ESTACIONES QUE REGISTRARON EL SISMO PRINCIPAL**  
**(continuación)**

Nombre, código y descripción de estación acelerográfica	Tipo de Suelo y Geología	Coordenadas geográficas	Registro en pág.
San José, Edificio ICE, ICE Edificio Central del ICE Concreto Reforzado 15 pisos	Firme Depósitos volcánicos cuaternarios	9.9403  84.1046	37
Quepos, QPS Centro de Salud Mampostería reforzada 1 piso	Rocoso Sedimento terciarios	9.4311  84.1663	39
Alajuela, ALJ CIPET (Antiguo Cuartel) Concreto reforzado 2 pisos	Blando Depósitos volcánicos cuaternarios	10.0186  84.2200	41
Puriscal, PCL Estación de Bomberos, Santiago Concreto reforzado 2 pisos	Blando Materiales volcánicos terciarios	9.8481  84.3144	43
San Ramón, SRM Centro Regional UCR Concreto reforzado 1 piso	Blando Sedimento cuaternarios	10.0877  84.4824	45
<b>NOTAS:</b> Clasificación de suelos con base en Código Sísmico de Costa Rica. Clasificación geológica con base en Mapa Geológico de Costa Rica, escala 1:200 000 y Mapa Geomorfológico de Costa Rica, escala 1:200 000. Coordenadas geográficas: Latitud Norte Longitud Oeste			
<b>Abreviaturas:</b> CCSS: Caja Costarricense de Seguro Social CIPET: Centro de Investigación y Perfeccionamiento para la Enseñanza Técnica ICE: Instituto Costarricense de Electricidad INS: Instituto Nacional de Seguros RECOPE: Refinadora Costarricense de Petróleo UCR: Universidad de Costa Rica			

**TABLA 3**  
**ACELERACIONES MAXIMAS REGISTRADAS**

Nombre de estación	Código	Tipo Estr.	Tipo Suelo	Distancia Hipocentral	Aceleración Máxima	Orientación de ejes
San Isidro (Nivel del terreno)	ISD	B	F	76	0.20	0°
					0.17	Vertical
					0.15	270°
Cachí (Túnel de exploración)	CCH	C	R	83	0.15	0°
					0.06	Vertical
					0.09	270°
Cartago (Parque Central)	CTG	C	B	96	0.27	0°
					0.13	Vertical
					0.22	270°
San José Guatuso (Nivel del terreno)	GTS	B	F	108	0.11	0°
					0.04	Vertical
					0.06	270°
San José Biblioteca Central UCR (Nivel del terreno)	CMA	A	B	111	0.16	92.5°
					0.12	Vertical
					0.20	2.5°
Golfito (Nivel del terreno)	GLF	B	B	113	0.06	0°
					0.02	Vertical
					0.04	270°
San José Hotel Aurola (Sótano)	AUR	A	F	114	0.07	0°
					0.04	Vertical
					0.06	270°
San José Edificio Banco Nacional (Sótano)	BNC	A	F	115	0.08	262°
					0.07	Vertical
					0.07	172°

**TABLA 3**  
**ACELERACIONES MAXIMAS REGISTRADAS**  
**(continuación)**

Nombre de Estación	Código	Tipo Estr.	Tipo Suelo	Distancia Hipocentral	Aceleración Máxima	Orientación de ejes
San José Hatillo (Nivel del terreno)	HTO	B	B	116	0.12	0°
					0.06	Vertical
					0.09	270°
San José Edificio Central ICE (Sótano)	ICE	A	F	117	0.08	285°
					0.06	Vertical
					0.09	195°
Quepos (Nivel del terreno)	QPS	B	R	121	0.04	0°
					0.03	Vertical
					0.03	270°
Alajuela CIPET (Nivel del terreno)	ALJ	B	B	131	0.11	0°
					0.05	Vertical
					0.09	270°
Puriscal (Nivel del terreno)	PCL	B	B	139	0.09	0°
					0.07	Vertical
					0.07	270°
San Ramón UCR (Nivel del terreno)	SRM	B	B	162	0.09	0°
					0.08	Vertical
					0.08	270°
<u>Notas</u>						
Valores de aceleraciones máximas relativas a g						
g = 9.81 m/s <sup>2</sup> , aceleración de la gravedad						
Distancias en kilómetros						
<b>TIPO DE ESTRUCTURA</b>				<b>TIPO DE SUELO</b>		
A: Edificio alto (3 o más pisos)				R: Roca		
B: Edificio bajo (menos de 3 pisos)				F: Firme		
C: Instalación en campo libre				B: Blando		